

계측자료를 이용한 중심코어형 석괴댐의 장기침하량 예측

Long-term Settlement Prediction of Center-cored Rockfill Dam using Measured Data

이 충 원¹⁾ · 김 용 성[†]

Chungwon Lee · Yongseong Kim

Received: July 18th, 2014; Revised: July 29th, 2014; Accepted: September 25th, 2014

ABSTRACT : In this study, the prediction methods for the crest settlement after impounding and the maximum internal settlement during dam construction were proposed through the analysis on settlement data at 46 monitored points of 37 Center-Cored Rockfill Dams (CCRDs). Results from this analysis provided that the crest settlement increases with elapsed time, and from the relationship between the dam height and the maximum internal settlement during dam construction, it is confirmed that the internal settlement was largely evaluated when the coarse-grained material was used as the dam core. This internal settlement increased in proportion to the dam height. In addition, the crest settlement of the CCRD with the core compacted with fine-grained material was relatively large. It is expected that the results of this study would provide the practical tool for the design, construction and management of CCRDs.

Keywords : Center-cored rockfill dam, Crest settlement, Internal settlement, Measured data, Dam height, Empirical formula

요 지 : 본 연구에서는 37개의 CCRD에 대한 계측자료(46개 지점)를 통해 댐 축조단계에서 얻어지는 계측자료를 이용하여 담수 후 댐의 정부침하량 및 내부침하량 예측기법을 제안하였다. 전체 데이터에 대한 분석 결과, 담수 후 시간경과에 따라 정부침하량이 함께 증가함이 확인되었으며, 댐 코어의 재료를 조립질과 세립질의 2가지 유형으로 구분한 댐 높이와 시공 중 최대 내부침하량의 관계로부터 조립질 재료를 사용 시의 내부침하량이 다소 크게 평가되었다. 또한 내부침하량은 댐 높이에 비례하여 증가하였으며, 댐 코어로서 세립질 재료를 사용하는 경우의 정부침하량이 상대적으로 크게 평가되었다. 본 연구결과는 향후 CCRD의 설계, 시공, 장기적 유지관리를 위한 유용한 도구가 될 것으로 전망된다.

주요어 : 중심코어형 석괴댐, 정부침하량, 내부침하량, 계측자료, 댐 높이, 경험식

1. 서 론

필댐의 정부침하량을 정확하게 예측하는 것은 댐 설계자 및 현장 시공자의 주된 관심사였으며, 시공 시 여성고의 결정뿐 아니라 운영 중 댐의 거동특성을 표현하므로 대단히 중요한 의미를 갖는다. 이러한 필댐으로서 국내외적으로 중심코어형 석괴댐(CCRD, Center-Cored Rockfill Dam)은 다수의 시공실적을 갖는다.

CCRD의 거동은 여러 가지 요인들에 의해 복합적인 영향을 받으며 댐의 설계, 시공 및 운영과 밀접한 관계가 있다. 축조재료, 다짐, 축조속도 등을 검토하여 축조된 제체는 저수위의 변화에 의해 최종적으로 영향을 받는다. 현재까지 축조된 기존의 댐 중에서 파괴를 일으켰던 대부분의 댐들이 완공 후 첫 담수 시에 그러한 영향을 나타냈다는 사실은 초

기 담수 시기와 담수 속도가 댐의 안정성에 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다. 특히 저수위가 급상승하거나 급강하할 때는 댐의 응력-변형 특성에 큰 영향을 미치기 때문에 설계 시에는 예상되는 저수위 변화를 고려하여 최적의 댐이 되도록 해야 한다.

담수 후의 CCRD의 변형은 댐 높이뿐만 아니라 저수위, 댐 기초, 록필부, 코어부의 다짐 및 재료특성 등 많은 요인에 의해 영향을 받게 되므로 이론적으로 예측하기에는 많은 오차요인이 포함되어 있다. 따라서 담수 후의 변형을 일률적인 침하량과 댐 높이 또는 경과시간과 단순한 경험적 관계식으로는 신뢰성 예측이 어려운 측면이 있으나, 축조 후 담수를 개시하기 전 담수 후의 침하량을 현장에서 손쉽게 예측할 수 있다는 장점 때문에 이러한 방법에 대해 많은 연구자들이 지속적인 관심을 가져왔다.

1) Institute for Advanced Construction Materials, Kangwon National University

† Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University (Corresponding Author : yskim2@kangwon.ac.kr)

Lawton & Lester(1964)는 11개 록필댐에 대한 조사결과 정부침하량은 댐 높이의 함수로서 $S = 0.001H^{3/2}$ 의 관계로 나타낼 수 있고 수평변형은 침하량의 50 % 정도이며, 상류사면이 표면차수벽형이고 상대적으로 빠른 담수를 할 경우 85 %의 정부침하량이 담수 첫해에 이루어짐을 보고하였다. Sowers et al.(1965)은 14개 록필댐에 대한 조사결과 성토 후 10년간 총 정부침하량은 $S = 0.25 \%H \sim 1.0 \%H$ 의 관계에 있으며, 일정기간 내의 정부침하량을 계산할 수 있는 식을 제안하였다. 또한 Soydemir & Kjaernsli(1979)는 48개 록필댐을 4개 그룹으로 분류하여 분석한 결과 정부침하량을 계산하는 식을 $S = \beta H^{\delta}$ 의 형태로 제안하였으며, Clements(1984)는 68개 록필댐을 4개 그룹으로 분류한 후 이들의 정부침하 및 수평변형을 분석하는 새로운 접근법을 제시하였다. 한편 Dascal(1987)은 15개 록필댐에 대한 조사결과 다짐공법으로 축조된 댐(중심코어 또는 약간 경사진 코어)의 정부침하량은 0.35 %H보다 작게 나타나며, 하류사면의 최대침하량은 0.7 %H~0.8 %H의 범위에 이를 수 있음을 보고하였다. Habibagahi(2002)는 록필댐을 4개 그룹으로 분류한 후 정부침하량을 계측자료와 뉴로퍼지 이론을 이용한 침하량 산정방법을 비교하여 이러한 방법이 정부침하량을 산정하는데 유용함을 입증하였다. 그러나 이들 연구는 단순한 정부침하량의 계측자료를 이용한 경험식의 제안이거나 뉴로퍼지 이론이라 하더라도 정부침하량만을 다룬 점에서 부족한 측면이 있다.

본 연구에서는 37개의 CCRD에 대한 계측자료(46개 지점)를 통해 댐 축조단계에서 얻어지는 계측자료를 이용하여 담수 후 댐의 정부침하량 및 내부침하량 예측기법을 제안하였으며, 이를 통해 향후 국내 CCRD의 설계, 시공, 장기적 유지관리를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다. 본 연구를 통해 얻어진 결과물은 여성고 결정 등 댐의 설계·시공 및 계측관리의 신뢰도 증진 등 댐 유지관리 측면에서 댐 기술자에게 유용한 도구가 될 것으로 사료된다.

2. 계측자료 분석에 의한 CCRD의 침하량 예측

2.1 분석자료

Table 1은 6개국의 CCRD 중에서 축조 중의 내부침하량 및 담수 후의 정부침하량 계측자료가 확보된 37개 CCRD(46개 지점)에 대한 계측자료의 현황을 나타낸다. 본 Table에는 CCRD의 이름, 소재국가, 축조년도, 코어 타입, 높이, 댐 형상비(L/H), 시공완료 시의 상대 내부침하량, 담수 후의 상대 정부침하량 및 경과시간을 표기하였다. 여기서 내부침하량

(Internal settlement, S_i)은 댐 축조 중 제체 내부에서 발생한 침하량의 최대치를 의미하며, 정부침하량(Crest settlement, S)은 담수 후에 제체의 정상부에서 발생한 침하량의 최대치를 의미한다. 본 Table에서 두 침하량은 댐의 높이(H)로 나누어진 상대침하량의 개념으로 기술되었다.

2.2 CCRD의 침하량 예측

CCRD에서의 침하관리를 위한 계측은 주로 시공 시 설계조건의 확인, 완성 후 댐의 안전관리를 목적으로 실시한다. 시공 시 댐체의 측방변위의 계측은 시공관리와 사면활동 등을 예측할 수 있는 중요한 단서를 제공하므로 성토 중에 댐체의 침하량을 계측하는 것은 안전관리상 중요한 지표가 된다.

CCRD는 완공 후에 일반적으로 변형률은 감소하지만 수직, 수평 및 용기 등의 변형은 장기간 지속되며 그러한 변형은 댐 거동의 안정 여부를 암시하게 되고 댐의 안전관리에 중요한 평가항목이 된다. 따라서 건설 후의 변형 거동을 예측하고 이를 계측된 자료와 비교하는 방법을 통해 댐의 잠재적 문제점에 대한 평가 및 대책을 검토하게 된다.

그 동안 다수의 연구자들이 CCRD의 높이를 통하여 정부침하량을 산정하는 경험식을 제안하여 왔다. Lawton & Lester(1964)는 11개 록필댐의 조사 결과 댐 높이와 정부침하량 사이에는 Eq. (1)의 관계가 있다고 하였다.

$$s = 0.001H^{3/2} \quad (1)$$

여기서 s 는 정부침하량(m), H 는 댐 높이(m)이다.

또한 Sower et al.(1965)은 14개 록필댐에 대한 조사결과로부터 성토 후 10년간의 총 침하량 및 일정기간($t_1 \sim t_2$) 내의 침하량은 각각 Eq. (2), Eq. (3)과 같이 나타낼 수 있음을 보고하였다.

$$s = 0.25 \%H \sim 1.0 \%H \quad (2)$$

$$\Delta H = \alpha(\log t_2 - \log t_1) \quad (3)$$

여기서 s 는 정부침하량(m), H 는 댐 높이(m), α 는 계수(0.2~0.7)이다.

Soydemir & Kjaernsli(1979)는 48개 록필댐에 대한 조사결과 정부침하량을 Eq. (4)와 같이 제안하였다.

$$s = \beta H^{\delta} \quad (4)$$

Table 1. Summary of CCRD data used in this study

No.	Name	Country	Year completed	Core material	Height H (m)	Ratio (L/H)	End of construction	After impounding	
							Internal settlement (%H)	Crest settlement (%H)	Elapsed time (year)
1	Bradbury	USA	1953	SC	85	12	0.85	0.25	44
2	Glenbawn (M)	Australia	1957	CL	76.5	10.8	3.17	0.99	27
3	Upper Yarra	Australia	1957	CL	90	6.8	2.64	0.59	41
4	Upper Yarra	Australia	1957	CL	90	6.8	2.43	0.59	41
5	Tooma	Australia	1961	SM	67	4.6	2.28	0.18	38
6	Eppalock	Australia	1962	CL	47	14.9	2.16	1.09	37
7	El Infiernillo	Mexico	1963	CL	148	2.3	2.58	0.80	17
8	Burrendong	Australia	1963	CL	76	14.9	2.36	0.43	34
9	Netzahualcoyotl	Mexico	1964	MH	132	3.6	2.25	0.45	5.6
10	Netzahualcoyotl	Mexico	1964	MH	132	3.6	2.25	0.58	2.75
11	San Luis (M)	USA	1967	CL	116	48.7	1.83	0.36	30
12	San Luis (M)	USA	1967	CL	116	48.7	2.64	0.36	30
13	Blowering	Australia	1968	SC	112	7.2	5.25	1.05	28
14	Parangana	Australia	1968	SM	53	3.6	0.66	0.21	26.5
15	Wyangala	Australia	1968	SC	86	17.6	1.78	0.44	31
16	Wyangala	Australia	1968	SC	86	17.6	1.80	0.44	31
17	Talbingo	Australia	1970	CL	162	4.3	1.49	0.33	28
18	Shimokotori	Japan	1972	GC	119	2.4	3.24	0.46	13
19	Soyanggang	Korea	1972	SM	123	4.3	1.63	0.34	41
20	Copeton	Australia	1973	SC	113	13.1	3.16	0.69	25
21	Maroon	Australia	1973	SC	52	8.8	2.15	0.52	20
22	Fukada	Japan	1976	GC	55.5	6.1	1.36	0.23	7
23	Andong	Korea	1976	SW	83	7.4	0.49	0.33	37
24	Googong	Australia	1977	SC	62	6.8	1.90	0.38	13
25	Dartmouth	Australia	1978	SC	180	3.7	1.79	0.66	20
26	Dartmouth	Australia	1978	SC	180	3.7	3.93	0.66	20
27	Tedorigawa	Japan	1978	GM	153	2.7	3.83	0.44	9
28	Chaffey	Australia	1979	CH	54	9.8	1.69	0.28	17.5
29	Chicoasen	Mexico	1980	GC	261	1.8	2.55	0.33	0.75
30	Split Yard Creek	Australia	1980	CL	76	15	1.74	0.43	19
31	Frauenau	Germany	1981	SM	80	8.4	1.57	0.19	3
32	Wivenhoe	Australia	1982	CL	59	20.3	1.84	0.31	16
33	Wivenhoe	Australia	1982	CL	59	20.3	1.42	0.31	16
34	Windemere	Australia	1984	CL	67	12.3	3.19	0.60	14
35	Glenbawn (S)	Australia	1986	CL	35	16.7	1.45	0.64	12
36	Juam (M)	Korea	1992	SM	58	5.7	0.81	0.46	21
37	Juam (R)	Korea	1992	SM	99.9	5.6	1.15	0.60	21
38	Imha	Korea	1993	SC	73	7.1	1.01	0.18	20
39	Boryeong	Korea	1998	CL	50	5.8	0.06	0.64	15
40	hoengseong	Korea	2000	CL	48.5	4.2	0.86	0.56	13
41	Cheongpyeong	Korea	1980	CL	63.8	4.55	2.33	0.89	32
42	Samnangjin (U)	Korea	1985	CL	88	0.33	1.69	0.75	27
43	Samnangjin (L)	Korea	1985	CL	78	0.15	1.90	0.37	27
44	Muju (U)	Korea	1994	CL	60.7	4.7	0.02	0.03	5
45	Muju (L)	Korea	1994	CL	42.6	5.5	0.00	0.02	5
46	Gangneungdoam	Korea	1991	CL	72	4.17	1.67	0.39	22

여기서 s 는 정부침하량(m), β 는 계수, δ 는 지수, H 는 댐 높이(m)이다.

다만 이들의 연구는 비다짐 공법의 차수벽형 댐 및 경사 코어형 댐에 관한 연구 및 다짐공법의 차수벽형 댐에 관한 연구가 주류를 이루었으며 CCRD의 정부침하량에 대한 연구는 Clements(1984)에 의하여 계속되었다. Clements(1984)는 CCRD의 정부침하량은 Eq. (5)와 같이 나타낼 수 있음을 제안하였다.

$$s = \beta' H^{\delta'} \quad (5)$$

여기서 s 는 정부침하량(m), β' 는 계수(2×10^{-4} 를 적용), δ' 는 지수(2를 적용), H 는 댐 높이(m)이다.

2.2.1 축조 후 경과시간에 따른 침하량 분석

Fig. 1(a)는 37개 CCRD(46개 지점)에 대한 계측자료에 대하여 답수 후 0년~10년경과, 11년~44년경과의 2가지 유형으로 구분하여 댐 높이와 정부침하량의 관계를 도시한 뒤 선형회귀분석(Linear regression)한 결과를 나타내었으며, Fig. 1(b)는 전체 데이터에 대한 선형회귀분석 결과 및 기존 경험식과의 비교를 나타내었다. Fig. 1(a)로부터 0년~10년 경과 시 및 11년~44년 경과 시의 회귀식, 상관계수(R) 및 결정계수(R^2)는 각각 Eq. (6), Eq. (7)과 같이 나타난다.

$$y_1 = 0.0037x \quad (R = 0.8777, R^2 = 0.7703) \quad (6)$$

$$y_2 = 0.0054x \quad (R = 0.7444, R^2 = 0.5542) \quad (7)$$

여기서 y_1 및 y_2 는 각각 답수 후 0년~10년 및 11년~44년 경과 시의 정부침하량(m), x 는 댐의 높이(m)이다. 본 결과로부터 답수 후 시간경과에 따라 정부침하량이 함께 증가함을 알 수 있다.

또한 Fig. 1(b)로부터 전체 데이터에 대한 회귀식, 상관계수(R) 및 결정계수(R^2)는 Eq. (8)과 같이 나타난다.

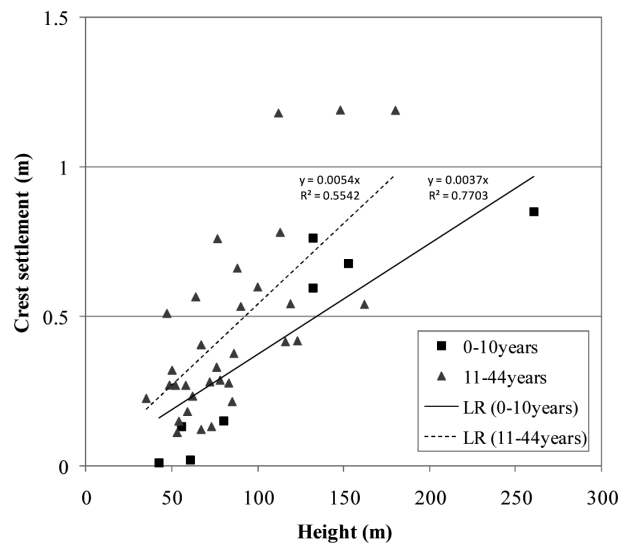
$$y = 0.0049x \quad (R = 0.7305, R^2 = 0.5336) \quad (8)$$

여기서 y 는 CCRD의 정부침하량(m), x 는 댐의 높이(m)이다. 본 결과는 CCRD의 높이가 H 일 때 0.49 %H의 정부침하량이 발생함을 의미하며, Kim et al.(2012)이 제시한 0.5 %H와 유사한 결과이다. 이와 함께 Lawton & Lester(1964) 및 Clements(1984)의 제안식은 37개 CCRD(46개 지점)의 댐 높이에 대한 정부침하량의 최대값과 대략적으로 일치하고 있어, CCRD의 안전측 설계를 위한 두 제안식의 적용성을

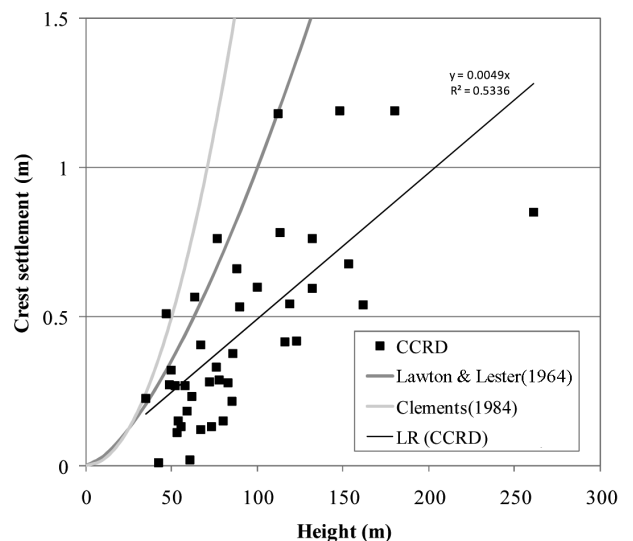
확인할 수 있었다.

CCRD에서 대부분의 침하는 건설기간 중에 발생하나, 건설 후에도 매우 완만한 속도로 침하가 일어나며 침하율은 시간경과에 따라 점점 감소한다. 따라서 댐 유지관리의 정밀도 제고를 위해서는 시공 중 침하량을 고려할 필요가 있다고 사료된다.

Fig. 2(a)는 CCRD의 전체 계측자료에 대하여 답수 후 0년~10년경과, 11년~44년경과의 2가지 유형으로 구분하여 내부침하량과 정부침하량의 관계를 도시한 뒤 선형회귀분석한 결과를 나타내었으며, Fig. 2(b)는 전체 데이터에 대한 선형회귀분석 결과를 나타내었다. Fig. 2(a)로부터 0년~10년 경과 시 및 11년~44년 경과 시의 회귀식, 상관계수(R) 및 결정계수(R^2)는 각각 Eq. (9), Eq. (10)과 같이 나타난다.



(a) Relationship between dam height and crest settlement for each elapsed-time range



(b) Comparison of empirical formulae with entire measured data

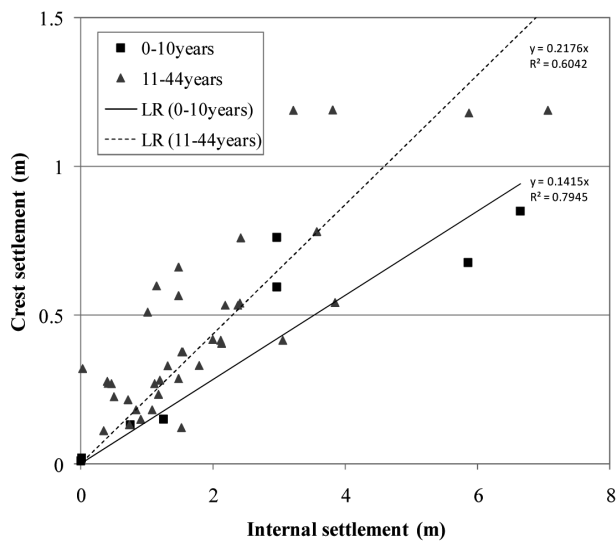
Fig. 1. Relationship between dam height and crest settlement on elapsed time

$$y_1 = 0.1415x \quad (R = 0.8913, R^2 = 0.7945) \quad (9)$$

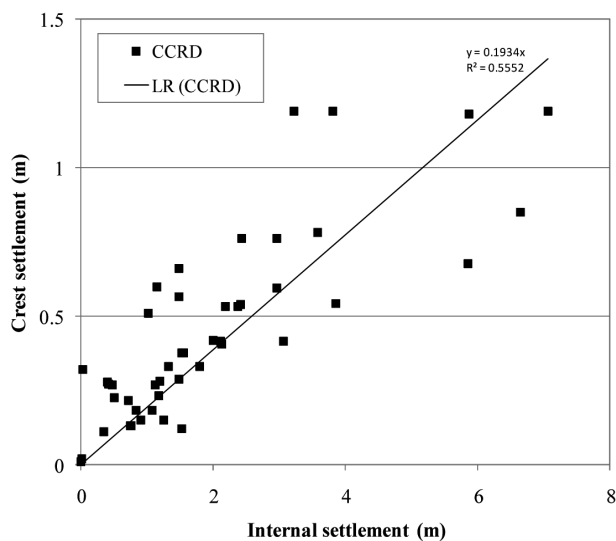
$$y_2 = 0.2176x \quad (R = 0.7773, R^2 = 0.6042) \quad (10)$$

여기서 y_1 및 y_2 는 각각 담수 후 0년~10년 및 11년~44년 경과 시의 정부침하량(m), x 는 시공 중 최대 내부침하량(m)이다. 본 결과로부터 내부침하량이 동일하더라도 담수 후 시간경과에 따라 정부침하량은 증가하는 경향을 확인할 수 있다.

또한 Fig. 2(b)로부터 전체 데이터에 대한 회귀식, 상관계수(R) 및 결정계수(R^2)는 Eq. (11)과 같이 나타난다.



(a) Relationship between internal settlement and crest settlement for each elapsed-time range



(b) Relationship between internal settlement and crest settlement for entire data

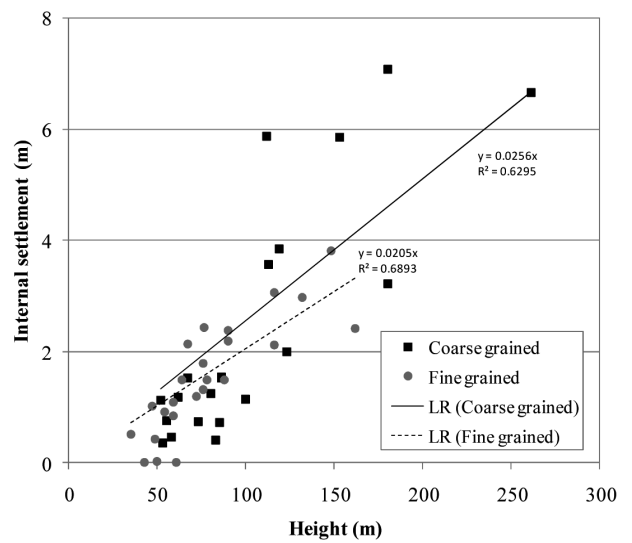
Fig. 2. Relationship between internal settlement and crest settlement on elapsed time

$$y = 0.1934x \quad (R = 0.7451, R^2 = 0.5552) \quad (11)$$

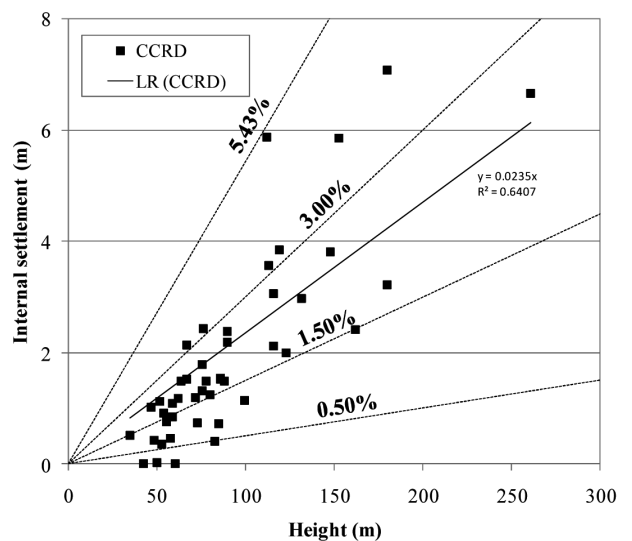
여기서 y 는 CCRD의 정부침하량(m), x 는 시공 중 최대 내부침하량(m)이며, 본 결과로부터 CCRD의 정부침하량은 내부침하량의 0.193배로 평가되었다. 이는 Kim et al.(2012)이 제시한 0.213배와 유사한 결과이다.

2.2.2 코어 재료에 따른 침하량 분석

Fig. 3(a)는 37개 CCRD(46개 지점)에 대한 계측자료에 대해 댐 코어의 재료를 조립질(자갈 및 모래 계열, 21개 data)과 세립질(실트 및 점토 계열, 25개 data)의 2가지 유형으로 구분하여 댐 높이와 시공 중 최대 내부침하량의 관계를 도



(a) Relationship between dam height and internal settlement for each dam core material



(b) Relationship between dam height and internal settlement for entire data

Fig. 3. Relationship between dam height and internal settlement on dam core material

시한 뒤 선형회귀분석한 결과를 나타내었으며, Fig. 3(b)는 전체 데이터에 대한 선형회귀분석 결과를 나타내었다. Fig. 3(a)로부터 댐 코어에 대해 조립질 및 세립질 재료를 사용 시의 회귀식, 상관계수(R) 및 결정계수(R²)는 각각 Eq. (12), Eq. (13)과 같이 나타난다.

$$y_1 = 0.0256x \quad (R = 0.7934, R^2 = 0.6295) \quad (12)$$

$$y_2 = 0.0205x \quad (R = 0.8302, R^2 = 0.6893) \quad (13)$$

여기서 y₁ 및 y₂는 각각 댐 코어에 대해 조립질 및 세립질 재료를 사용 시의 시공 중 최대 내부침하량(m), x는 댐의 높이(m)이다. 본 결과로부터 댐 코어로서 조립질 재료를 사용 시의 내부침하량이 다소 크게 평가되며, 이는 조립질 재료가 상대적으로 밀도가 크고 다짐시공이 용이하여 전체 침하량 중 즉시침하량이 차지하는 비율이 큰 특성에 기인하는 것으로 사료된다.

또한 Fig. 3(b)로부터 전체 데이터에 대한 회귀식, 상관계수(R) 및 결정계수(R²)는 Eq. (14)와 같이 나타난다.

$$y = 0.0235x \quad (R = 0.8004, R^2 = 0.6407) \quad (14)$$

여기서 y는 CCRD의 내부침하량(m), x는 댐의 높이(m)이다. 본 그래프로부터 시공 중 최대 내부침하량은 평균적으로 2.35 %H(H: 댐 높이)로 평가되었으며, 댐 높이가 100 m 보다 낮은 댐의 내부침하량은 최대 약 3 %H, 댐 높이가 100 m보다 높아 상대적으로 규모가 큰 댐의 내부침하량은 1.50 %H~5.43 %H의 범위에 있어 내부침하량은 댐 높이에 비

례하는 경향이 있음을 확인하였다.

Fig. 4는 댐 코어의 재료를 조립질과 세립질의 2가지 유형으로 구분한 예측자료들에 대하여 댐 높이와 정부침하량의 관계를 도식한 뒤 선형회귀분석한 결과를 나타내었다. 이로부터 댐 코어의 재료가 조립질 및 세립질인 경우의 회귀식, 상관계수(R) 및 결정계수(R²)는 각각 Eq. (15), Eq. (16)과 같이 나타난다.

$$y_1 = 0.0048x \quad (R = 0.7600, R^2 = 0.5776) \quad (15)$$

$$y_2 = 0.0051x \quad (R = 0.6768, R^2 = 0.4580) \quad (16)$$

여기서 y₁ 및 y₂는 각각 댐 코어의 재료가 조립질 및 세립질인 경우의 정부침하량(m), x는 댐의 높이(m)이다. 또한 Fig. 5는 본 예측자료들에 대하여 내부침하량과 정부침하량의 관계를 도식하고 선형회귀분석을 수행한 결과를 나타내었다. 댐 코어의 재료가 조립질 및 세립질인 경우의 회귀식, 상관계수(R) 및 결정계수(R²)는 각각 Eq. (17), Eq. (18)과 같이 나타난다.

$$y_1 = 0.1725x \quad (R = 0.7959, R^2 = 0.6335) \quad (17)$$

$$y_2 = 0.2447x \quad (R = 0.7869, R^2 = 0.6192) \quad (18)$$

여기서 y₁ 및 y₂는 각각 댐 코어의 재료가 조립질 및 세립질인 경우의 정부침하량(m), x는 시공 중 최대 내부침하량(m)이다. 본 결과들로부터 댐 코어로서 세립질 재료를 사용하는 경우의 정부침하량이 크게 나타나는 것으로 확인되며,

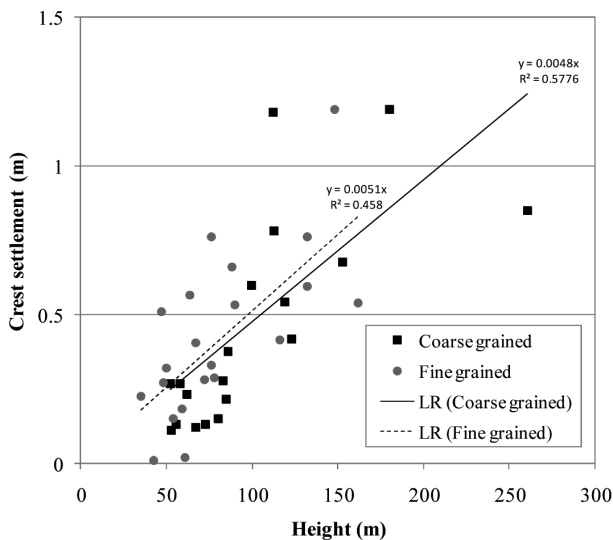


Fig. 4. Relationship between dam height and crest settlement for each dam core material

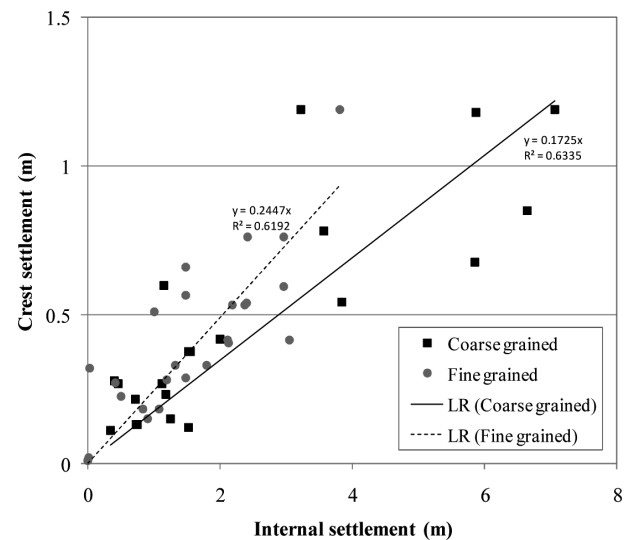


Fig. 5. Relationship between internal settlement and crest settlement for each dam core material

이는 세립질 재료의 상대적 저투수성 및 입자 재배열 영향 등으로 인해 장기침하량이 큰 특성에 기인하는 것으로 사료된다.

3. 결 론

본 연구에서는 37개의 CCRD에 대한 계측자료(46개 지점)를 통해 댐 축조단계에서 얻어지는 계측자료를 이용하여 담수 후 댐의 정부침하량 및 내부침하량 예측기법을 제안하였으며, 이를 통해 향후 국내 CCRD의 설계, 시공, 장기적 유지관리를 위한 기초자료를 제공하고자 하였다. 본 연구로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 전체 계측자료를 담수 후 0년~10년경과, 11년~44년경과의 2가지 유형으로 구분한 댐 높이와 정부침하량의 관계로부터, 담수 후 시간경과에 따라 정부침하량이 함께 증가함을 확인할 수 있었다. 또한 Lawton & Lester(1964) 및 Clements(1984)의 제안식은 전체 계측 데이터의 댐 높이에 대한 정부침하량의 최대값과 대략적으로 일치하고 있어, CCRD의 안전측 설계를 위한 두 제안식의 적용성을 확인할 수 있었다.
- (2) 담수 후 0년~10년경과, 11년~44년경과 시의 내부침하량과 정부침하량의 관계에 대하여 선형회귀분석을 수행한 결과, 내부침하량이 동일하더라도 담수 후 시간경과에 따라 정부침하량은 증가하는 경향을 확인할 수 있었다.
- (3) 전체 계측자료에 대해 댐 코어의 재료를 조립질과 세립질의 2가지 유형으로 구분한 댐 높이와 시공 중 최대 내부침하량의 관계로부터 댐 코어로서 조립질 재료를 사용 시의 내부침하량이 다소 크게 평가되며, 이는 조립질 재료가 상대적으로 밀도가 크고 다짐시공이 용이하여 전체 침하량 중 즉시침하량이 차지하는 비율이 큰 특성에 기인하는 것으로 보인다.
- (4) 댐 코어의 재료가 조립질 및 세립질인 경우에 대하여 내부침하량과 정부침하량의 관계를 도시하고 선형회귀분석을 수행한 결과, 댐 코어로서 세립질 재료를 사용하

는 경우의 정부침하량이 크게 나타나는 것으로 확인되었으며, 이는 세립질 재료의 상대적 저투수성 및 입자 재배열 영향 등으로 인해 장기침하량이 큰 특성에 기인하는 것으로 사료된다.

- (5) 본 연구를 통해 얻어진 결과물은 여성고 결정 등 댐의 설계·시공 및 계측관리의 신뢰도 증진과 댐 유지관리 측면에서 댐 기술자에게 유용한 도구가 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청 재난안전기술개발기반구축사업(NEMA-기반-2013-106)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

1. Clements, R. P. (1984), Post-construction deformation of rockfill dams, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 110, No. 7, pp. 821~840.
2. Dascal, O. (1987), Postconstruction deformations of rockfill dams, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 113, No. 1, pp. 46~59.
3. Habibagahi, G. (2002), Post-construction settlement of rockfill dams analyzed via adaptive network-based fuzzy inference systems. *Computers and Geotechnics*, Vol. 29, No. 3, pp. 211~233.
4. Kim, Y. S., Kim, B. J. and Oh, S. E. (2012), Prediction of crest settlement of center cored rockfill dam using an artificial neural network model, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 54, No. 4, pp. 73~81 (in Korean).
5. Lawton, F. L. and Lester, M. D. (1964), Settlement of rockfill dams, *Proceedings of the 8th International Congress on Large Dams*, Edinburgh, Scotland, Vol. 3, pp. 599~613.
6. Sowers, G. F., Williams, R. C. and Wallace, T. S. (1965), Compressibility of broken rock and the settlement of rockfills, *Proceedings of the 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Toronto, Canada, Vol. 2, pp. 561~565.
7. Soydemir, C. and Kjaemli, B. (1979), Deformation of membrane-faced rockfill dams, *Proceedings of the 7th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Brighton, United Kingdom, Vol. 3, pp. 281~284.